

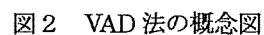
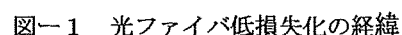
# VAD による光ファイバ製造技術と工業化に関する研究

著者	稲垣 伸夫
号	51
学位授与番号	3688
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/37356">http://hdl.handle.net/10097/37356</a>

氏 名	稲 垣 伸 夫		
授 与 学 位	博士（工学）		
学 位 授 与 年 月 日	平成18年9月13日		
学位授与の根拠法規	学位規則第4条第1項		
研究科、専攻の名称	東北大学大学院工学研究科（博士課程）金属フロンティア工学専攻		
学 位 論 文 題 目	VAD 法による光ファイバ製造技術と工業化に関する研究		
指 導 教 員	東北大学教授 石田 清仁		
論 文 審 査 委 員	主査	東北大学教授 石田 清仁	東北大学教授 佐藤 譲
		東北大学教授 小山 裕	

1970年代光通信技術が現実化しその研究が世界的に盛んになった。そこでの通信媒体は石英系光ファイバが中心であり、その製造法は米国コーニング社の外付け法（OVD法）、およびベル研の内付け法（MCVD法）が主流であった、しかしそれらは量産性に課題が残されていた。1977年、日本電信電話公社（現NTT）は量産性に優れた母材製造法として気相軸付け法（VAD法）を提案した。本論文の研究目的はこのVAD法の基礎技術を確立し、実業メーカーとの共同研究により工業化を実現することであり、全編8章よりなっている。

図2には VAD 法の概念図を示す。火炎加水分解反応により多孔質母材を作製し、その成長と共に軸方向に引き上げ上部のリング炉内で透明化してガラス化する。OVD 法、および MCVD 法ではガラス旋盤の長さで作製できる母材の大きさが制限を受けるが VAD 法では軸方向に作製するためその制限を受けず、量産性に優れた方法である。第2章においては、多孔質母材作製時における母材表面温度をコントロールすることにより母材の屈折率分布制御が可能であることを明らかにした。これを利用して、伝送帯域の優れた光ファイバを再現性良く製造できる技術を確立した。この屈折率制御技術は VAD 法独自のものである。



$$Si-OH + SOCl_2 \rightarrow Si-Cl + SO_2 + HCl$$

第 6 章は、光ファイバの伝送特性の測定法とその結果であり、VAD 法が石英系としては理論限界値に近い伝送損失特性を有する長尺光ファイバを実現できる母材製造技術であることを示した。

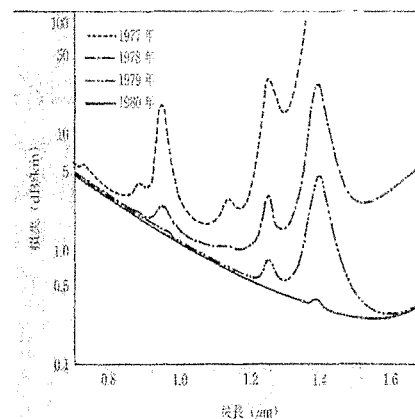


図3 VAD光ファイバの低損失化の経緯

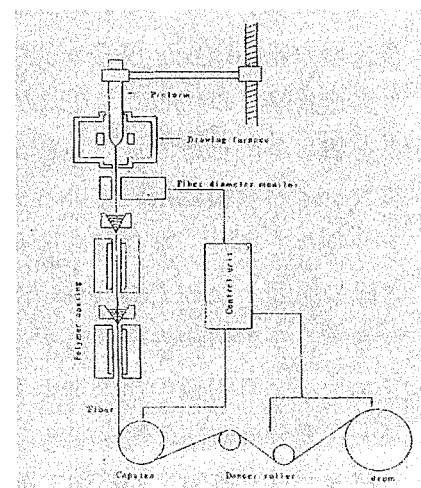
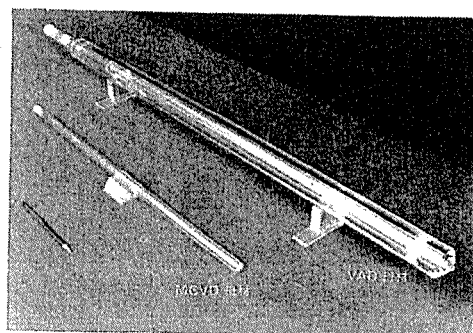


図4 光ファイバ線引き装置の概要



VAD 已經過上十年發展史

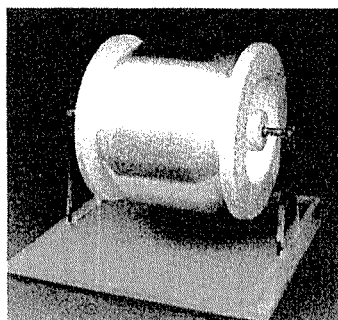
100 km VAD  $\approx 1.7 \times 10^4$  s $^{-1}$ 

図5 各種母材と VAD 長尺ファイバ

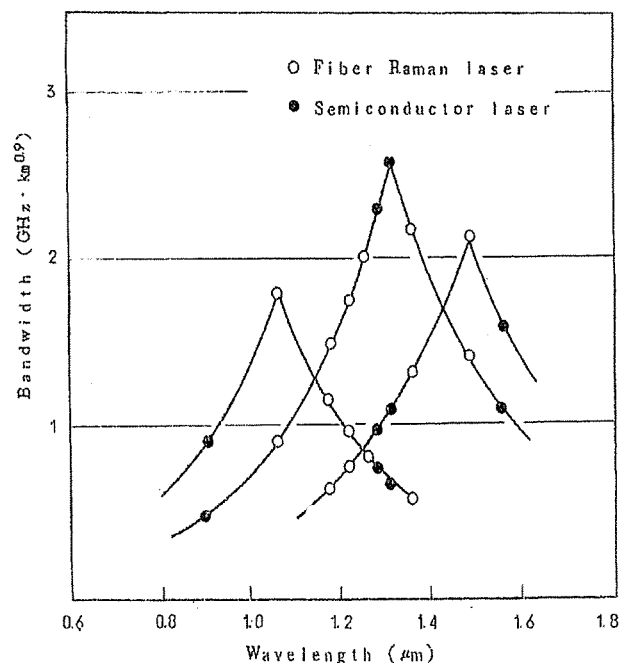


図6 VAD光ファイバの伝送帯域波長特性

VAD 光ファイバの伝送損失は、ガラス組成の最適化、脱水処理より、 $1.55\mu\text{m}$ で  $0.28\text{ dB/km}$  の極低損失光ファイバを実現した。一方、伝送帯域については、母材の屈折率分布形成技術の向上により、 $1\text{ GHz}\cdot\text{km}$  以上の広帯域グレーデッド光ファイバを実現した。図 6 にはその VAD 光ファイバの伝送帯域波長特性を示している。こうして VAD 法による光ファイバの製造技術は電電公社と古河電気工業株式会社、住友電気工業株式会社、藤倉電線株式会社（現フジクラ）三社の電線ケーブルメーカーとの共同研究で実証され、高品質化が図られ、各社の実用工場で製造できる技術として確立した。

第 7 章は、光ファイバの信頼性に関する研究結果である。電電公社が実施した中小容量光伝送方式の現場試験に導入した光ファイバが 2 年後、経時変化によって損失増が起こることが明らかになり大きな問題として提起され、関係者の懸命の努力によってこの問題も解決された。すなわち、損失増の原因は  $\text{H}_2$  分子が光ファイバに拡散侵入し、ガラス構造欠陥との反応により、 $\text{OH}$  基に変換することによることを明らかにした。また、その  $\text{H}_2$  分子の発生源は線引き後ファイバ被覆に用いているプラスチックコートであることを突きとめた。被覆材の改良を行ない、またガラス構造欠陥の原因となる  $\text{P}_2\text{O}_5$  を除去することにより、 $\text{OH}$  基を低減させ、長期信頼性を保証することに成功した。図 7 は光ファイバ 20 年後の損失増の予測を立てたものである。長期的に充分信頼性を確保できことを示している。

第 8 章は、本論文の結論である。

以上、本論文は、量産性に優れた VAD 法による光ファイバ母材製造の基本技術を確認し、その工業化を実現した。また、現場試験で明らかになった損失増についてその原因を研究し、対策を明確にした。この結果、VAD 光ファイバの長期信頼性を保証され、今日の光通信時代の幕開けに貢献した。

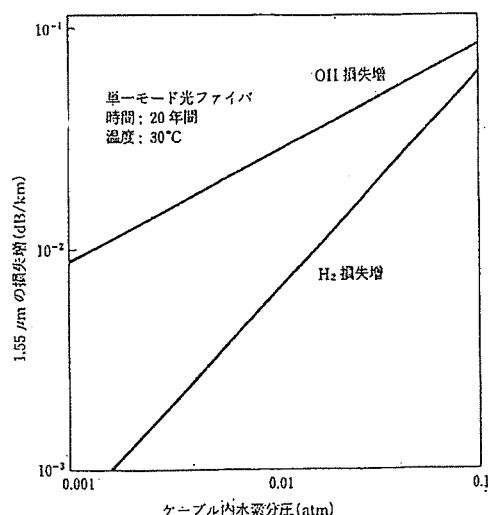


図 7 光ファイバ 20 年後の損失増予測

# 論文審査結果の要旨

1970年以降光通信技術が現実化しその研究が世界的に盛んになったが、その通信媒体は石英系光ファイバが中心であり、その製造法は当初米国の OVD 法、および MCVD 法が主流であった、しかしそれらは量産性に課題が残されていたため、日本電信電話公社（現・NTT）は量産性に優れた母材製造法として気相軸付け法（VAD 法）を提案した。本論文はこの開発に関連したもので、VAD 法の基礎技術を確認し、工業化を実現させた内容をまとめたものであり、全編8章よりなっている。

第1章は、本論文の背景および目的を示している。

第2章は、VAD 法の基本構成を示している。火炎加水分解反応による多孔質母材作製時における母材表面温度との関係を研究し、その温度コントロールによる屈折率分布制御技術を確認することにより、伝送帯域の優れた光ファイバを再現性良く製造できることを示している。

第3章は、多孔質母材の透明化に関する理論的、実験的研究結果を述べたものである。雰囲気ガスのガラスへの透過率によって決まり、He ガス雰囲気中の熱処理で容易に透明化出来ることを示している。

第4章は、多孔質母材中には通常約 200ppm の OH 基を含んでいるが  $\text{SOCl}_2$  ガス雰囲気中での熱処理により 0.1ppm 以下に低減でき、伝送損失の低い光ファイバの製造を可能にできることを示している。

第5章は、光ファイバの線引き技術の研究結果であり、線引き炉の設計と線径制御技術の確認によって光ファイバ線径を  $\pm 0.5\mu\text{m}$  に制御できること、また炉の清浄化により高強度ファイバを実現している。

第6章は、光ファイバの伝送特性の測定法とその結果であり、VAD 法が石英系としては理論限界値に近い伝送損失特性を有する長尺光ファイバを実現できる優れた母材製造技術であることを示している。

第7章は、光ファイバの信頼性に関する研究結果である。現場での経時変化による損失増は、 $\text{H}_2$  分子が光ファイバ中に拡散侵入し、構造欠陥との反応により、OH 基に変換することに起因することを明らかにしている。またその  $\text{H}_2$  分子の発生源は線引き後ファイバ被覆に用いているプラスチックコートであることを突きとめ、その除去法について対策をたてることにより、長期信頼性を保証できることを示している。

第8章は、本論文の結論である。

以上のように本論文は、量産性に優れた VAD 法による母材製造技術を確認し、その工業化を実現すると共に現場試験で明らかになった損失増についてその原因を研究し、対策を明確にしている。この結果、光ファイバの長期信頼性を保証し、今日の光通信時代の幕開けに貢献している。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。